

# Planowanie i realizacja projektów HDD

## CZĘŚĆ III: WERYFIKACJA ZAŁOŻEŃ PROJEKTOWYCH



Proces inwestycyjno-budowlany obejmuje kilka następujących po sobie etapów: przygotowanie inwestycji, projektowanie i prace konstrukcyjne – od ogólnej koncepcji do szczegółowych rozwiązań techniczno-technologicznych. Stopniowe doprecyzowanie założeń i stowarzyszonych z nimi metod znajduje swoje odzwierciedlenie w kolejnych logicznych działaniach. Trzecia część naszego cyklu poświęcona jest dokumentacji projektowej, rekomendacjom dotyczącym badań geologicznych, analizie parametrów geometrycznych otworu wiertniczego i założeniom do uproszczonej analizy ciśnień

### Fazy powstawania projektu HDD

Na początku musi pojawić się **koncepcja programowo-przestrzenna** lub **wstępne studium wykonalności**. Za powstanie takiego dokumentu, który stanowi ramowy program inwestycji i powiązaną z nim wizję planowanych obiektów, odpowiedzialny jest inwestor. W przypadku budowy rurociągów podziemnych dokument ten określa prawdopodobny

przebieg trasy, w tym także miejsca występowania naturalnych lub sztucznych przeszkód terenowych, do których zaliczamy m.in. rzeki, tereny chronione, tereny bagienne, istotną infrastrukturę drogową i kolejową. Koncepcja wynikająca ze studiowania map musi zostać potwierdzona wizją w terenie dla wstępnej oceny i weryfikacji. W ramach tego etapu może już zostać wybrany najkorzystniejszy wariant lokalizacji danego przedsięwzięcia rurociągowego.

Inwestor i jego konsultanci są odpowiedzialni za przygotowanie i przeprowadzenie procedury przetargowej na wykonanie dokumentacji projektowej. Wyłonione w jej wyniku biuro ma za zadanie w ciągu ściśle określonego czasu przedstawić szereg dokumentów, w tym m.in. projekt wstępny, selekcję i analizę możliwości zrealizowania przekroczeń za pomocą technik bezwykopowych, decyzję środowiskową, decyzję lokalizacyjną, projekt budowlany oraz projekt wykonawczy.



**Robert Osikowicz**

(ur. 1966), absolwent Wydziału Wiertnictwa Nafty i Gazu AGH w Krakowie. Zajmuje się technologią wiercenia otworów kierunkowych i praktycznymi aplikacjami płynów wiertniczych w otworach różnego przeznaczenia. Jest autorem szeregu publikacji dotyczących konfiguracji sprzętu, optymalizacji techniki wiercenia, analiz rynku technologii bezwykopowych, zarządzania jakością i ryzykiem w działaniach wiertniczych, tworzenia harmonogramów i budżetów projektów. Od 2009 r. pracuje dla firmy Robert Osikowicz Engineering. Firma jest członkiem branżowej organizacji wiertniczej Drilling Contractors Association (DCA-Europe).

W trakcie przygotowania **projektu wstępnego** konieczne jest szczegółowe rozpoznanie terenu przewidzianego dla trasy nowego rurociągu, ze wskazaniem rodzajów przekroczeń bezwykopowych, przy uwzględnieniu panujących warunków geologicznych, wodnych oraz istniejącej w pobliżu infrastruktury. Poza naturalnymi przeszkodami, które w oczywisty sposób wskazują na wykorzystanie technik bezwykopowych, pod szczególnym nadzorem powinny znaleźć się tereny niedostępne, gęsto zabudowane, tereny górnicze, zalewowe i podmokłe, a także tereny niestabilne i zagrożone procesami osuwiskowymi. Dla podjęcia decyzji o wyborze metody konstrukcyjnej niezbędne jest wykonanie dokumentacji geologicznej podłoża. Typ badań, ich zasięg i stopień szczegółowości rozpoznania geologicznego jest w znacznym stopniu uzależniony od wymagań formalnych oraz wytycznych, które opracował inwestor. Zlecającym badania geologiczne w większości przypadków jest projektant.

Po wskazaniu metody HDD (ang. *Horizontal Directional Drilling*, pol. *horyzontalne wiercenia kierunkowe*) jako najkorzystniejszej dla danego przekroczenia, należy określić lokalizację oraz minimalną wielkość placów maszynowych i montażowych. Wymagane rozmiary placów są ściśle związane z klasą analizowanego przekroczenia. Zarówno place maszynowe (strona wiertnicy), jak i place montażowe (strona rurociągu) powinny mieć zagwarantowaną możliwość dojazdu drogami istniejącymi lub też tymczasowymi drogami przygotowywanymi specjalnie dla realizacji zadań konstrukcyjnych. Rekomenduje się też zapewnienie dostępu do terenu położonego pomiędzy punktem wejścia i wyjścia otworu wiertniczego. Może on być wykorzystany m.in. do wykonania tymczasowych kablowych pętli pomiarowych lub też do położenia rurociągu służącego do transferu szlamu wiertniczego pomiędzy dwoma stronami przekroczenia.

Na etapie projektu wstępnego może pojawić się konieczność przygotowania analizy techniczno-ekonomicznej, potwierdzającej słuszność wybranej metody budowy. Opis przekroczenia powinien zawierać co najmniej: nazwę i typ przekraczanej przeszkody, miejsce przekroczenia w kontekście kilometrażu całego rurociągu, długość otworu w planie, określenie parametrów technicznych projektowanego rurociągu (materiał, geometria, rodzaj i grubość powłok ochronnych, lokalizację

i opis merytoryczny otworów geologicznych. Projektant powinien zwrócić się do inwestora (zamawiającego) o zatwierdzenie przyjętych rozwiązań. Z kwestiami technicznymi równolegle prowadzone są uzgodnienia formalno-prawne. Projektant występuje do zarządców i właścicieli przekraczanych przeszkód oraz obiektów o wskazanie (potwierdzenie) wymaganych warunków technicznych stawianych wobec przekroczenia. Wśród zainteresowanych podmiotów znajdują się m.in.: zarządcy dróg wszelkiego typu, szlaków kolejowych, rzek i innych cieków wodnych. W zakresie swoich kompetencji odpowiadają także m.in.: starostwa, okręgowe urzędy górnicze, Państwowe Gospodarstwo Wodne „Wody Polskie”.

Projekty związane z budową infrastruktury podziemnej, w tym rurociągów i kabli różnego przeznaczenia, wymagają tzw. **decyzji środowiskowej**. Jest to decyzja administracyjna, której zadaniem polega na takim ukształtowaniu planowanego przedsięwzięcia, aby w możliwie najmniejszym stopniu ingerowało w otoczenie projektu. Decyzję środowiskową poprzedza procedura oceny oddziaływania na środowisko przyrodnicze i społeczne. Raport oddziaływania inwestycji na środowisko powstaje w oparciu o inwentaryzację przyrodniczą. Należy wskazać możliwości oraz sposoby zapobiegania i łagodzenia negatywnego oddziaływania inwestycji oraz wymagany zakres monitoringu. Dobrze widziane jest zapewnienie udziału zainteresowanych grup społecznych w postępowaniu. Wydanie decyzji o środowiskowych uwarunkowaniach wymaga wielu opinii i uzgodnień, np. z Regionalną Dyрекcją Ochrony Środowiska czy Państwową Inspekcją Sanitarną. Prawo nakłada obowiązek uzyskania decyzji o środowiskowych uwarunkowaniach przed uzyskaniem innych decyzji i pozwoleń administracyjnych. Decyzja środowiskowa wiąże organy wydające późniejsze decyzje w ramach procesu inwestycyjnego, determinując tym samym istotne cechy projektu. W ramach pozyskiwania stosownych dokumentów projektant zwraca się do zarządców rzek i firm wodociągowych o zgodę na pobór wody technologicznej, potrzebnej zarówno do przygotowania płuczki wiertniczej, jak i do prób ciśnieniowych rurociągów (jeśli takowe są wymagane). Analizie poddawane są ilości pobranej wody, objętości szlamu i urobku pozostającego po procesie wiercenia otworu i instalacji rurociągu

Kolejnym wymaganym dokumentem jest **decyzja lokalizacyjna**. Projektant składa wnioski o wydanie decyzji w odpowiednim miejscowo urzędzie wojewódzkim. Obowiązkiem projektanta jest wskazanie na planie sytuacyjnym placów maszynowych, placów prefabrykacji rurociągu, dróg dojazdowych oraz przygotowanie operatów wodnoprawnych. Na ich podstawie uzyskuje się pozwolenia wodnoprawne, istotne przy przekraczaniu rzek, jezior czy mniejszych cieków wodnych. Uzyskanie decyzji o ustaleniu lokalizacji inwestycji obowiązuje przy zamierzeniach budowlanych, które w świetle prawa wymagają uzyskania pozwoleń na budowę. Wniosek o ustalenie lokalizacji planowanej inwestycji powinien precyzyjnie określać na mapie granice terenu niezbędnego do przeprowadzenia prac konstrukcyjnych, a także potencjalnie teren, na który inwestycja może (będzie) oddziaływać. Wniosek może określać także ewentualne zapotrzebowanie na wodę i energię.

Konsekwencją wcześniejszych działań biura projektowego jest przygotowanie **projektu budowlanego**, tj. dokumentu formalnego, który przedstawia przyjęte rozwiązania projektowe dla danej inwestycji rurociągowej czy kablowej. Stanowi on podstawę do uzyskania wymaganych prawem opinii, zgód i pozwoleń. Wykonany w oparciu o aktualne przepisy zawiera część opisową i rysunkową, uwzględniając przy tym wymagania inwestora. W zakresie technologii bezwykopowych w projekcie funkcjonuje tabelaryczne zestawienie planowanych przekroczeń oraz ogólny opis rozwiązań technicznych. Wymagana jest lista skrzyżowań z przeszkodami wodnymi (rzekami, ciekami, rowami melioracyjnymi), liniami kolejowymi, drogami komunikacyjnymi, innymi instalacjami rurowymi, elektrycznymi liniami kablowymi, podziemnymi liniami telekomunikacyjnymi. W projekcie wskazuje się miejsca poboru wody technologicznej dla procesów wiertniczych i testów ciśnieniowych. Rekomendowane jest także wskazanie sposobu zagospodarowania płuczki wiertniczej i odseparowanego urobku. W ramach czynności projektanta znajdują się m.in.: wystąpienie o warunki techniczne każdego przekroczenia do zarządców i właścicieli, wystąpienie do zarządcy o możliwość zaprojektowania i wykonania zjazdów tymczasowych na czas realizacji projektu, wystąpienie do stosownych instytucji o informacje związane z terenami zalewowymi, terenami górniczymi

czy terenami narażonymi na przemieszczanie się mas ziemnych, zwietrzelinowych i skalnych (tworzenie osuwisk). Uzupełnieniem projektu jest dokumentacja geologiczna, przygotowana z zgodnie z obowiązującym prawem i uwzględniająca wytyczne oraz wymagania inwestora. Do projektu budowlanego powinna zostać dołączona informacja dotycząca bezpieczeństwa i ochrony zdrowia w warunkach specyficznego projektu budowlanego, zakładającego wykorzystanie techniki wiertniczej.

**Projekt wykonawczy** jest kolejnym podstawowym składnikiem dokumentacji projektowej. Powinien on uzupełniać i uszczegóławiać projekt budowlany w zakresie i stopniu dokładności niezbędnym do wykonania kosztorysu inwestorskiego, tworzenia harmonogramów, przygotowania oferty przez wykonawcę i realizacji robót konstrukcyjnych, w tym robót wiertniczych. W tym sensie powinien on nosić cechy projektu technologicznego. W projekcie należy uwzględnić wszelkie obowiązujące wytyczne i normy branżowe, w tym wytyczne organizacji wiertniczych i kluczowych dla rynku inwestorów. Projekt powinien zawierać szczegółowy opis techniczny wybranej metody bezwykopowej, w tym wypadku HDD, bazujący na literaturze przedmiotu i doświadczeniu firm wykonawczych. Na jego podstawie można opracować plan prac związanych z podstawowymi pracami HDD i czynnościami je wspierającymi. Projekt powinien zawierać co najmniej następujące informacje w formie graficznej i opisowej:

- plan ogólny dla określenia dróg dojazdowych, placów montażowych strony rurowej i maszynowej, miejsca składowania rur, miejsca montażu rurociągu;
- parametry trajektorii przewiertu HDD, w tym określenie punktów wejścia i wyjścia, kątów wejścia i wyjścia, długości sekcji prostoliniowych i krzywoliniowych, minimalnych wymaganych promieni krzywizny, całkowitą długość otworu w planie i długość rzeczywistą, maksymalną głębokość planowanego przekroczenia i przykrycie w newralgicznych punktach trasy;
- profil podłużny z naniesionymi rzędnymi i wrysowaną geologią;
- kalkulacje uzasadniające przyjęte rozwiązania geometryczne dla trajektorii i overbendu;
- kalkulacje spodziewanych ciśnień w głębinach i ich korelacja z ciśnieniami dopuszczalnymi;

- rekomendacje dotyczące płynu wiertniczego i programu płuczkowego;
- kalkulacje służące estymacji obciążeń przewodu wiertniczego w trakcie procesu wiercenia oraz instalacji rurociągu;
- kalkulacje służące wskazaniu potencjalnych naprężeń w instalowanym rurociągu;
- rekomendacje co do minimalnej wymaganej średnicy otworu;
- rekomendacje dotyczące minimalnej konfiguracji sprzętu wiertniczego, jaki powinien zmobilizować wykonawca robót;
- rekomendacje w zakresie wymaganych referencji spółki i kwalifikacji kluczowego personelu wykonawcy.

---

Zaprezentowane w projekcie budowlanym i projekcie wykonawczym rozwiązania powinny być nie tylko wykonalne, ale i poprawne pod względem formalnym oraz technicznym

---

## Analiza wykonalności

Jest rzeczą oczywistą, że zaprezentowane w projekcie budowlanym i projekcie wykonawczym rozwiązania powinny być nie tylko wykonalne, ale i poprawne pod względem formalnym oraz technicznym. Muszą cechować się wewnętrzną spójnością i wskazywać na logiczny ciąg zdarzeń, które należy przeprowadzić dla osiągnięcia sukcesu w zakresie przedmiotu zadania przy założonym harmonogramie i budżecie. Do weryfikacji założeń projektowych powinna posłużyć analiza wykonalności, która po pewnych modyfikacjach mogłaby zostać uznana za plan wykonalności projektu HDD.

Analiza tego typu może powstać w biurze projektowym, może też zostać zlecona firmie konsultingowej specjalizującej się w analizach technicznych projektów. Niezależnie od tego, kto jest autorem takiego dokumentu, może on być tworzony w różnych fazach prac nad projektem: na etapie selekcji metody konstruk-

cyjnej (analiza wstępna), na etapie tworzenia projektu wykonawczego (analiza pośrednia) oraz na etapie zamknięcia prac projektowych (analiza finalna). Spółka wiertnicza powinna natomiast sporządzić dokument wymagany dla dopuszczenia jej do etapu konstrukcyjnego, który ma charakter szczegółowej instrukcji postępowania (plan wykonalności).

Analiza wykonalności bazować powinna na zobiektywizowanych kryteriach oceny, do których należą:

- wytyczne i standardy branżowe,
- wytyczne inwestora (o ile takowe istnieją),
- wytyczne uznanych organizacji technicznych,
- publikacje firm wiertniczych i firm konsultingowych,
- studia przypadków.

Analiza powinna poruszać co najmniej następujące aspekty: uzasadnienie dla wybranej metody budowy (jako analiza porównawcza bazująca na powszechnie akceptowanych kryteriach), ocenę raportu geologicznego, ocenę parametrów geometrycznych otworu, estymację dopuszczalnych ciśnień wynikających z obecności warstw nadległych, szacowanie spodziewanych ciśnień dennych dla stanów statycznych i stanów dynamicznych oraz analizę możliwych rozwiązań technicznych. Ostatni element analizy zawierać może propozycje dotyczące sposobu zarzucenia otworu, wyboru optymalnej technologii wiercenia, symulację sił osiowych i momentów obrotowych dla poszczególnych etapów robót. W bardziej rozbudowanych dokumentach mogą pojawić się rekomendacje dotyczące minimalnych wymaganych parametrów sprzętu wiertniczego i przepustowości stowarzyszonego z nim systemu płuczkowego.

## Zakres stosowania analizy i zyski z niej płynące

Zdaniem autora dokument powinien być przygotowany dla każdego projektu o wskaźniku trudności otworu HDI (*Hole Difficulty Index*) powyżej 20 000, a także do innych projektów, które z racji trudnej geologii, skomplikowanej trajektorii czy nietypowych warunków zabudowy mogą narażać na problemy wykonawczych. Dzięki przygotowaniu dokumentów weryfikujących założenia projektowe dostajemy czytelną ocenę stopnia złożoności zadania oraz określenie wymaganych środków (zasobów)

technicznych, poziomu kompetencji i potencjału finansowego. Dla firm wiertniczych rzetelnie opracowany dokument jest nieocenionym wsparciem przy podejmowaniu decyzji. Jest też traktowany jako wstępna analiza ryzyka (ocena szans i zagrożeń) oraz baza dla szacowania czasu trwania poszczególnych etapów i wymaganego budżetu.

Brak analizy wykonalności lub jej niska jakość są źródłem zagrożeń, które trudno będzie wyeliminować na późniejszych etapach realizacji inwestycji. Wśród potencjalnych uchybień znajdują się: niedostosowanie zakresu badań geologicznych i stowarzyszonej z nimi dokumentacji do klasy projektu, błędne założenia projektowe w zakresie geometrii otworu, nierzetelne lub nierealistyczne rekomendacje, brak prawidłowej hierarchii w ocenie ryzyka, niedoszacowanie harmonogramu i budżetu.

## Geologia

Weryfikację i ocenę projektu rozpoczynamy od bazowej dokumentacji geologicznej. Definiuje ona obszar objęty budową i determinuje wszystkie działania spółki wiertniczej. Budowa

rurociągów metodą HDD wymaga starannego i dostosowanego do klasy przekroczenia rozpoznania geologicznego. Dla mniej skomplikowanych projektów (HDI poniżej 5 000) wykonuje się na ogół opinie geotechniczne. Projekty bardziej złożone wymagają przygotowania rozbudowanej dokumentacji badań podłoża gruntowego w celu określenia warunków geologiczno-inżynierskich dla potrzeb inwestycji.

Wymagania inwestorów z różnych branż nie są spójne. Co więcej, wielu inwestorów nie stawia szczegółowych (specyficznych) warunków, które dokumentacja geologiczna powinna spełniać. Wyraźnym wyjątkiem od tej reguły jest spółka Gaz-System S.A., posiadająca własne wytyczne dla badań geologicznych wykonywanych w celu rozpoznania warunków zabudowy.

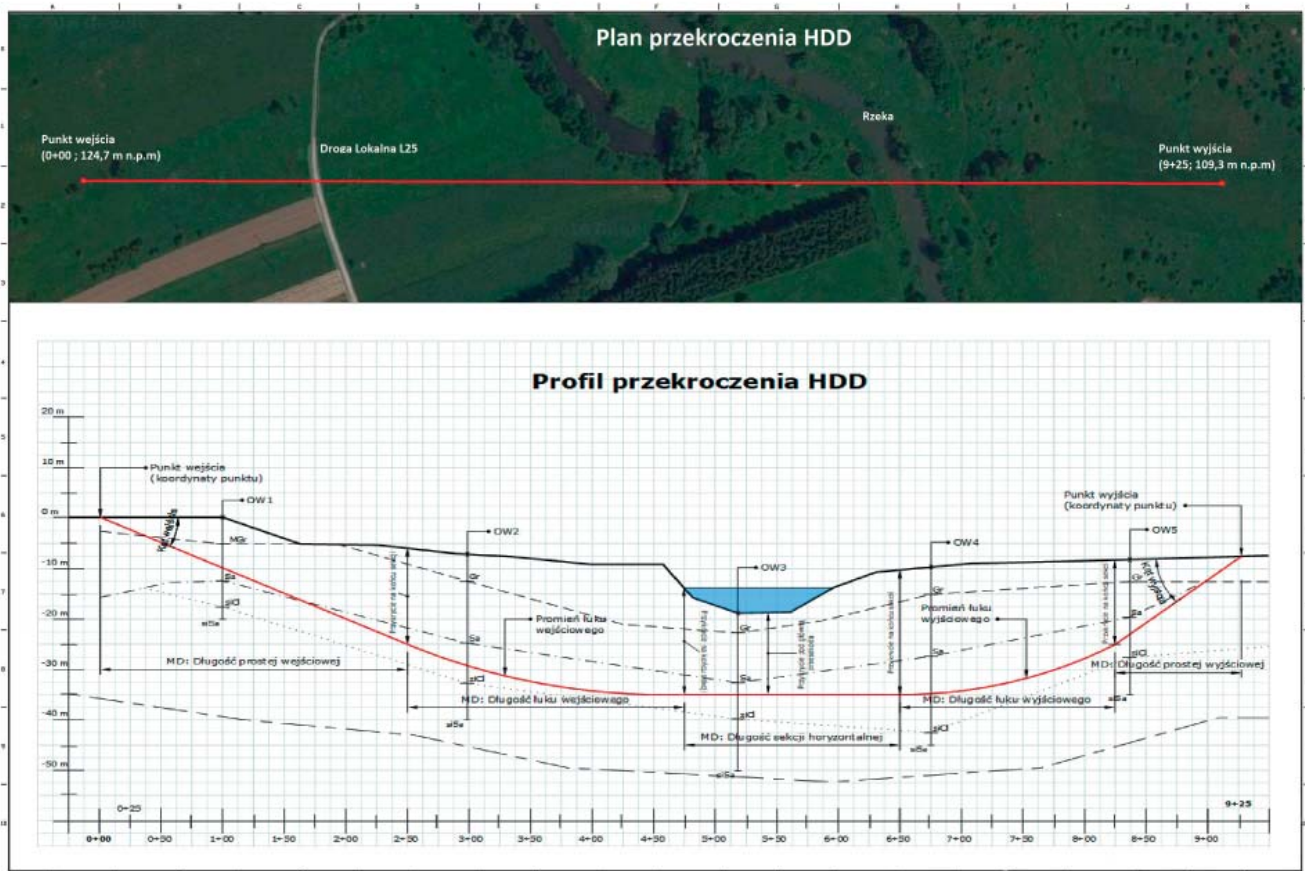
Rekomendacje obejmują poniższe metody badawcze: wiercenia geologiczne (w tym też z pełnym poborem rdzenia), sondowania różnego typu oraz badania geofizyczne.

Na podstawie wyżej wymienionych badań oczekuje się określenia takich parametrów, jak:

- stopień zagęszczenia dla gruntów sypkich (niespoistych);

- stopień plastyczności i granic Atterberga (dla gruntów spoistych);
- wytrzymałość na ścinanie bez odpływu w stropie i spągu warstwy;
- wilgotność naturalna;
- rozkład granulometryczny;
- gęstość objętościowa szkieletu gruntowego;
- spójność;
- kąt tarcia wewnętrzny;
- edometryczny moduł ściśliwości;
- współczynnik Poissona;
- wytrzymałość na ściskanie  $R_c$  – dla litych skał;
- wskaźnik spękań formacji skalnej RQD;
- wskaźnik jakości masywu skalnego RMR.

Przed rozpoczęciem prac geologicznych należy wykonać analizę archiwalnych materiałów geologicznych i przeprowadzić wizję lokalną na terenie przekroczenia. Otwory badawcze powinny być wykonywane w odstępach nie mniejszych niż 100 m, wzdłuż trasy planowanego rurociągu w odległości od 5 do 20 m od osi otworu, po obu jej stronach naprzemiennie. Ciekły wodne o szerokości do 50 m powinny zostać rozpoznane geologicznie



poprzez wykonanie dwóch otworów po obu brzegach, a obszar pomiędzy nimi powinien być zinterpretowany przez badania geofizyczne. Cieki wodne o większej rozpiętości powinny dodatkowo posiadać rozszerzone rozpoznanie o otwór badawczy wykonany w dnie rzeki. Głębokość otworów badawczych powinna sięgać 10 m poniżej planowanej rzędnej posadowienia rurociągu. W przypadku istotnych inwestycji wykonywane otwory powinny być otworami pełnordzeniowymi, a pobrany materiał należy badać zgodnie z obowiązującymi normami. Otwory geologiczne muszą zostać zlikwidowane za pomocą korków cementowych lub itowych, a likwidacja powinna być potwierdzona stosownym protokołem.

Najważniejsze pytania, jakie sobie musimy postawić na etapie weryfikacji, dotyczą następujących kwestii: jaki był zakres badań konwencjonalnych i geofizycznych; czy otwory wiercone i sondowania są wykonane; czy wykonane są badania i testy laboratoryjne; czy dostępna jest dokumentacja fotograficzna potwierdzająca działania geologów; czy część opisowa dokumentacji jest wystarczająco szczegółowa i zrozumiała, czy doprecyzowane są ryzyka geologiczne, czy badania należy rozszerzyć o dodatkowe czynniki?

Raport informuje nas o podziale warstw i ich wieku. Każdej wyodrębnionej warstwie przydzielone są charakterystyczne parametry, w tym m.in.: gęstość, stopień zagęszczenia, stopień plastyczności, kohezja, rozkład granulometryczny, a dla formacji skalnych wskaźnik jakości rdzenia czy jego wytrzymałość na ściskanie. Geolog, mając świadomość tego, jakie jest przeznaczenie jego raportu, powinien: dokonać obiektywnej oceny stanu faktycznego podłoża w kontekście specyfiki metody HDD, określić przydatność poszczególnych warstw dla celów wiertniczych (wytworzenie w niej stabilnego otworu) i zapewnienia równowagi ciśnień, oszacować prawdopodobieństwo kolizji z dużymi obiektami, skupiskami kamieni, rumoszu i żwiru, określić parametry masywów ilastych (iłów, glin ilastych, iłowców itp.), a w przypadku występowania skał litych odnieść się do jakości rdzenia, parametrów wytrzymałościowych i potencjalnej zwieralności formacji.

Geolog dokonuje rozróżnienia typów warstw na nośne i nienośne, spoiste i niespoiste, skały lite, zwietrzelinę i rumosz. Zarówno projektant, jak i wykonawca robót wiertniczych musi umieć zinterpretować raport geologiczny i odnieść go

do specyfiki metody HDD. Po jego lekturze powinniśmy umieć ocenić parametry geotechniczne warstw przewierczanych jako korzystne lub niekorzystne, ocenić jakość nadkładu i warunki hydrogeologiczne, skorelować warstwy z profilem wiercenia, skontrolować wykonalność zaplanowanej trajektorii, opracować możliwie najbardziej szczegółową strategię działania.

Obserwując rynek wiertniczy, dochodzimy do wniosku, że na badaniach geologicznych nie warto oszczędzać. Nie dostrzegając zagrożeń, popełniamy błędy projektowe i wykonawcze, nie potrafimy tworzyć planów alternatywnych, ponieważ nie znamy precyzyjnie otoczenia geologicznego. Zdajemy się często na przypadek i płacimy za zdarzenia nieoczekiwane w taki sposób, że musimy stawić czoła komplikacjom i awariom wiertniczym. W konsekwencji narażamy się na ryzyko sporów pomiędzy stronami kontraktu. Kwestionowana może być przy tym wysokość budżetu, a ryzyko opóźnień jest wówczas wysokie.

---

Obserwując rynek wiertniczy, dochodzimy do wniosku, że na badaniach geologicznych nie warto oszczędzać

---

## Geometria otworu – trajektoria

Planowanie otworów kierunkowych jest zajęciem wymagającym od projektanta interdyscyplinarnych umiejętności. Trajektorija otworu musi być wykonalna w kontekście topografii, geologii, techniki wiertniczej i parametrów zaplanowanego rurociągu. Jej kształt powinien zostać pozytywnie oceniony według kryteriów wynikających z wytycznych branżowych i dotychczasowych doświadczeń rynku. Powinien być ponadto zgodny z możliwościami sprzętowymi (dopasowanie do urządzenia wiertniczego i przewodu wiertniczego).

Czwarta edycja wytycznych opracowanych przez Drilling Contractors Association zawiera ogólne rekomendacje, które odnoszą się do geometrii otworu, kątów, odległości, długości

sekcji, głębokości otworu, dokładności wiercenia oraz wymaganego przykrycia.

**Punkt wejścia i wyjścia** powinny zostać precyzyjnie zdefiniowane i wyznaczone w terenie przez uprawnionego geodetę. Odchyłka w punkcie wejścia nie powinna być wyższa niż 0,3 m.

**Kąt wejścia i wyjścia** otworu kierunkowego ma być odpowiedni w stosunku do średnicy i specyfiki materiału instalowanego rurociągu. Co do zasady, kąt wejścia powinien pozostać w przedziale pomiędzy 6° a 18°. Kąt wyjścia determinowany jest również przez rodzaj i wielkość urządzenia wiertniczego, ukształtowania terenu, odległości od przeszkody głównej. Od każdej reguły istnieją wyjątki. Nie jest więc niczym nadzwyczajnym znaleźć urządzenie kompaktowe, wierzące przy pochyleniu powyżej 20°. Równocześnie, jako generalna zasada, jest uznawane, że kąt wyjścia powinien być tym mniejszy, im większa jest średnica rurociągu. W praktyce spotyka się więc kąty wyjścia na poziomie od 4° do 15°. Dla zastosowanego kąta wyjścia należy prawidłowo zaprojektować i wykonać overbend, by stalowy rurociąg był swobodnie wprowadzany do otworu podczas instalacji. Rurociągi wykonane z tworzyw sztucznych mogą być instalowane bez wykonywania overbendu.

**Sekcje wejścia i wyjścia** powinny zostać zaprojektowane jako odcinki prostoliniowe, bez istotnych zmian kątowych zarówno po stronie inklinacji, jak i azymutu. Podyktowane jest to mniejszą miąższością nadkładu i słabszą (mniej zwartą) formacją. Długość początkowych i końcowych odcinków otworu jest tym większa, im większa jest całkowita długość przekroczenia i głębokość otworu. Dodatkowa rekomendacja wynika ze średnicy i masy przewodu wiertniczego. Im jest on bardziej ciężki i sztywny, tym odcinek początkowy i końcowy powinny być dłuższe. W praktyce oznacza to, że długość sekcji wejściowej waha się od kilkunastu do nawet 200 m. Sekcja wyjściowa służy do korekty aktualnej pozycji narzędzia w stosunku do pozycji zaprojektowanej. Konieczność korygowania przebiegu trajektorii w ostatniej fazie wiercenia determinowana jest wymaganą dokładnością w punkcie wyjścia.

**Sekcje łuku wejściowego i wyjściowego** służą do osiągnięcia określonej głębokości przy promieniu krzywizny nie mniejszym od określonych w wymaganiach techniczno-technologicznych. Promienie łuków wejściowych i wyjściowych mogą się między sobą różnić.

**Sekcja głęboka o stałej inklinacji (sekcja horyzontalna)** jest opcjonalnym odcinkiem otworu. Z rekomendacji doświadczonych firm świadczących usługi nawigacyjne w otworach wynika, że nie powinna być ona krótsza niż 10% długości otworu. ROE rekomenduje, aby nadatek ciśnienia dopuszczalnego nad potencjalnym dynamicznym ciśnieniem dennym wynosił w sekcji głębokiej otworu nie mniej niż 1 bar dla otworów o długości do 500 m i powyżej 2 barów dla otworów o długości powyżej 1000 m.

**Długość rzeczywista otworu** to całkowita (łącznie) długość wszystkich sekcji prostych i zakrzywionych pomiędzy punktem wejścia i wyjścia, mierzona w jego osi. Jest to zawsze większa wartość niż długość otworu w planie, która uwzględnia długości sekcji będących rzutem na płaszczyznę poziomą.

**Głębokość otworu i przykrycie** to dwa zbliżone do siebie pojęcia. Pierwsze oznacza różnicę w rzędnych pomiędzy punktem wejścia i dowolnym punktem trajektorii (osi wierconego otworu), drugie jest związane z odległością mierzoną w pionie od dowolnego punktu trajektorii do jego odpowiednika na powierzchni terenu czy też na dnie przeszkody wodnej. W specyficznych warunkach terenowych (stała rzędna powierzchni) głębokość otworu będzie równa przykryciu. Minimalne wymagania stawiane przykryciu pod jeziorami, rzekami, wałami przeciwpowodziowymi i innymi newralgicznymi miejscami dla instalacji rurowych nie powinny być mniejsze niż 5 m lub piętnastokrotność średnicy zewnętrznej rury. Jest to jednak tylko wartość orientacyjna. Dla większości dłuższych przekroczeń HDD wartość przykrycia jest większa, gdyż musi zapewnić prawidłowy obieg płuczki w otworze i równowagę potencjalnego ciśnienia dennego przez warstwy nadkładu. Generalnie, im większe jest przykrycie, tym mniejsze jest ryzyko szczeliniowania hydraulicznego do powierzchni terenu i destabilizacji (wynoszenia i zapadania się gruntu). Wartości ciśnień dopuszczalnych można oszacować, posługując się modelami geotechnicznymi, i skorelować z danymi pochodzącymi z rzeczywistych otworów wierconych w podobnych warunkach.

**Relacja długości otworu do jego głębokości i przykrycia** – jest to jeden z kluczowych wskaźników determinujących stopień trudności otworu kierunkowego. Wartość ilorazu długości całkowitej do średniego przykrycia w sekcji głębokiej otworu powinna być mniejsza niż 30 dla większości typowych warunków geologicznych.

**Różnica w elewacjach pomiędzy newralgicznymi punktami trajektorii** powinna być przedmiotem wnikliwej analizy. Powinny zostać określone różnice rzędnych pomiędzy punktami wejścia (strona maszynowa) i wyjścia (strona rurociągową), a także różnice pomiędzy punktami skrajnymi a dnem przeszkód wodnych. W warunkach otwartego z dwóch stron otworu można spodziewać się tendencji do wyrównywania w nim poziomów płuczki. W przypadku różnicy wejście/wyjście wynoszących powyżej 5 m należy przeanalizować dokładnie warunki geologiczne w obszarze punktu wyższego i wprowadzić ewentualne plany zaradcze w celu ograniczenia ryzyka destabilizacji ściany otworu. Środki zaradcze powinny zostać opisane szczegółowo w planie wykonalności opracowanym przez spółkę wiertniczą.

**Promień krzywizny** trajektorii wierconego otworu są determinowane wieloma czynnikami technicznymi, do których należą: parametry instalowanego rurociągu, parametry stosowanych elementów przewodu wiertniczego, długość otworu i otoczenie geologiczne. Promień krzywizny ma szczególne znaczenie przy planowaniu instalacji rurociągów stalowych. Stosowana powszechnie przez biura projektowe formuła DCA koreluje trzy parametry: zewnętrzną średnicę i grubość ścianki rury, a także dominujące warstwy geotechniczne, przez które wiercony jest otwór.

- $$R_{\text{projektowany}} = C \times \sqrt{(D_a \times s)}$$
- R projektowany – planowany minimalny promień (m)
  - C – stała charakterystyczna dla otoczenia geologicznego (wg tabeli zamieszczonej w wytycznych DCA)
  - $D_a$  – zewnętrzna średnica rurociągu (m)
  - s – grubość ścianki rurociągu (m)

**Krzywizny horyzontalne (łuki w płaszczyźnie poziomej)** to zaprojektowane odcinki otworu o zmieniającym się azymucie (kierunku wiercenia). Promienie takich łuków nie powinny być mniejsze niż dla łuków realizowanych w płaszczyźnie pionowej. Nie rekomenduje się bez wyraźnej potrzeby planowania otworów z jednoczesną zmianą inklinacji i azymutu. Dla skutecznej kontroli zachowania się osi otworu wierconego ze zmianą azymutu wymagane jest stosowanie żyrokompasowego lub magnetycznego systemu nawigacji.

**Suma zaplanowanych zmian kątowych** to jeden z parametrów determinujących stopień

trudności otworu kierunkowego. Należy przy tym pamiętać, że są to wartości teoretyczne. Praktyka wiertnicza i weryfikujące ją pomiary w otworze wskazują, że suma rzeczywistych zmian kątowych będzie wyższa. Wyróżniamy otwory o trajektoriach prostych (suma do 15° zmian kątowych), umiarkowane złożonych (od 15° do 30°), złożonych (od 30° do 60°) i skomplikowanych (powyżej 60°). Dodatkowym parametrem weryfikującym jest średnia intensywność zmian kątowych na 100 m wierconego otworu.

---

Planowanie otworów  
kierunkowych jest zajęciem  
wymagającym od projektanta  
interdyscyplinarnych  
umiejętności

---

**Overcut** to parametr określający stosunek nominalnej średnicy otworu do średnicy zewnętrznej rurociągu instalowanego. Jako wielkość odniesienia powinna być brana średnica rury w najszerszym miejscu (jako zasada w miejscu łączenia: żeliwne rury, złącza elektrooporowe). Odpowiednio zaprojektowany overcut to jeden z wymogów dla bezpiecznej instalacji. Ogólnie akceptowalne współczynniki mieszczą się w granicach od 1,5 (rury o małych średnicach i/lub formacje niestabilne) do 1,2 (dla rur o większych średnicach i otworów wierconych w formacjach stabilnych). Należy w tym miejscu zaznaczyć, że nie ma powszechnie przyjętych metod, które pozwoliłyby oszacować minimalną i zarazem bezpieczną średnicę dla otworów HDD (pojedyncze rury lub wiązki rur). W związku z tym trzeba odnieść się do praktyki wiertniczej, która została opisana powyżej.

**Wymagana dokładność wiercenia** to wskazanie wymaganych tolerancji, w jakich powinna się zmieścić spółka wiertnicza realizująca projekt. Zgodnie z wytycznymi organizacji wiertniczych dla wykonania otworu pilotowego mają miejsce następujące rekomendacje:

- oś instalacji może odbiegać w każdym kierunku o max. 10% maksymalnej głębokości

wierconego otworu, oprócz punktu wejściowego i wyjściowego. Linia odniesienia jest prostą łączącą punkt wejściowy i wyjściowy otworu;

- faktyczny promień krzywizny osi otworu nie powinien odbiegać w dół więcej niż o 10% od założonego promienia konstrukcyjnego;
- odchylenia w punkcie wejściowym mogą wynieść tyle, ile średnica rury, jednak maksymalnie 0,3 m;
- odchylenia w punkcie wyjściowym mogą wynieść maksymalnie 2% długości otworu, ale nie więcej niż 5 m;
- przy ocenie tolerancji muszą zostać wzięte pod uwagę: dokładność pomiarów, obliczeń i poziom zidentyfikowanych zakłóceń mogących mieć wpływ na pracę systemów nawigacji.

Jeśli na etapie wykonawstwa otworu pilotowego odchylenia osi będą większe niż rekomendowane przez organizacje branżowe lub określone bezpośrednio w projekcie, spółka wiertnicza powinna uzyskać akceptację dla tego typu zdarzenia od swojego klienta, właściciela inwestycji i właściwego dla tego zadania biura projektowego. Finalny raport dotyczący wiercenia pilotowego powinien zostać przedłożony przez spółkę do akceptacji przed rozpoczęciem fazy poszerzania otworu.

## Analiza ciśnień

Analiza ciśnień to jedna z kluczowych i wymaganych przez normy branżowe kalkulacji, która powinna być zamieszczona w projekcie i/lub w analizie jego wykonalności. Jej waga wynika z faktu, że wiercenie HDD to działanie, w którym należy zachować właściwe proporcje pomiędzy zwiercaną fazą stałą, tłoczonym do otworu strumieniem płuczki oraz panującym w otworze ciśnieniem. Proces drążenia otworu powinien być procesem kontrolowanym i opomiarowanym. W jego wyniku powstanie stabilne wyrobisko wypełnione płuczka wiertniczą zmieszaną z urobkiem. Przy założeniu prowadzenia prac na właściwej głębokości i przy prawidłowym przykryciu, w otoczeniu nośnego gruntu rodzimego, proces przebiega w sposób mało inwazyjny i bezpieczny dla bezpośredniego otoczenia. Projektant powinien założyć, że warunkiem koniecznym dla prawidłowego prowadzenia robót wiertniczych jest właściwy bilans ciśnień. Ciśnienie dopuszczalne, wynikające z obecności

warstw nadległych, jest limitem, który musimy respektować, planując i realizując prace. Trwałe przekroczenie wartości ciśnienia dopuszczalnego wewnątrz otworu skutkuje pęknięciem ściany, tworzeniem się szczelin i niekontrolowaną migracją płuczki na powierzchnię terenu lub też w głąb przewiercanej formacji.

Analiza ciśnień wykonana przez projektanta musi wykazać, że:

- ciśnienie wynikające z jakości nadkładu powinno być większe od potencjalnego ciśnienia dennego (panującego wewnątrz otworu), wytworzonego w procesie wiercenia;
- ciśnienie dennego powinno być jednocześnie większe od ciśnienia porowego.

Gradient ciśnienia porowego dla młodych osadów czwartorzędu i neogenu zbliżony jest do wartości 1 bar/10 m. Oznacza to, że otwór pozostanie stabilny dopóki będzie się w nim znajdował płyn wiertniczy. Zaleca się, aby wierząc na niedużych głębokościach typowych dla techniki HDD, nie przekraczać ciężaru właściwego płuczki w otworze wynoszącego 1,4 G/cm<sup>3</sup>. Niższa koncentracja fazy stałej wpływa bowiem korzystnie zarówno na ciśnienie hydrostatyczne, jak też na opory przepływu cieczy lepkiej w przestrzeni pierścieniowej otworu.

---

Poziom ryzyka  
identyfikowanego dla  
technologii HDD rośnie wraz ze  
wzrostem skali projektu

---

Rozpoczynając prace analityczne nad uproszczoną analizą ciśnień dopuszczalnych, należy dokonać podsumowania wyodrębnionych w wyniku badań geologicznych warstw. Każdej z wyodrębnionych warstw należy przypisać zakres spodziewanego (estymowanego na podstawie dotychczasowych doświadczeń i praktyki) gradientu szczelinowania. Do dobrego zwyczaju należy podanie kluczowych parametrów geotechnicznych pozyskanych w badaniach laboratoryjnych lub oszacowanych na podstawie obserwacji poczynionych w trakcie wierceń badawczych. Na tej podsta-

wie można przewidzieć zachowanie (odporność) formacji wobec działania wiertniczego.

Szacunkowe wartości gradientu ciśnienia szczelinowania wynoszą:

- woda w rzece lub innym zbiorniku wodnym traktowana jako nadkład 1,0 bar/10 m słupa wody;
- warstwy nienośne i słabonośne: 1,2–1,9 barów/10 m miąższości warstwy;
- warstwy piaszczysto-żwirowe: 1,8 do 2,6 barów/10 m miąższości warstwy;
- warstwy ilaste (pyły, gliny, ility) 2,6–4 barów/10 m miąższości warstwy;
- warstwy identyfikowane jako skały lite > 4 barów/10 m miąższości warstwy.

Klasyfikowanie warstw i przydzielanie im hipotetycznego gradientu ciśnienia szczelinowania powinno odbywać się w korelacji z parametrami geotechnicznymi gruntu, warunkami jego zalegania, przebiegiem granic warstw, występowaniem stref słabonośnych i nienośnych. Analizy takiej powinien dokonać doświadczony geotechnik. W przypadku braku oszacowania takich gradientów należy odwołać się do doświadczenia spółek wiertniczych i firm konsultingowych, monitorujących proces wiercenia i analizujących zaistniałe przypadki szczelinowania hydraulicznego. Jeśli takie przypadki zostały opomiarowane za pomocą ciśnieniomierzy wgłębnych, mamy realne dane do wyliczenia gradientów ciśnienia szczelinowania. Każdorazowo w takim przypadku należy oszacować stan nadległego gruntu, korzystając z dostępnego raportu geologicznego.

W kolejnym kroku należy wskazać na punkty pomiarowe, dla których obliczymy ciśnienie dopuszczalne. Mogą to być punkty związane z wierconymi otworami (o ustalonej budowie geologicznej), ale też punkty pośrednie, dla których dokonujemy ekstrapolacji. Nie może przy takim podejściu zabraknąć punktów określających newralgiczne punkty przekroczenia (dno przeszkody wodnej, linia kolejowa, droga itp.). W wyniku analizy powinniśmy uzyskać krzywą ciśnień dopuszczalnych (ciśnień szczelinowania hydraulicznego nadkładu). Analiza ciśnień dopuszczalnych może być przeprowadzona także według innego modelu dostępnego na rynku. Do takich analiz z powodzeniem można wykorzystać symulacje wynikające z formuł opracowanych przez holenderską

politechnikę z Delft. Oprogramowanie tego typu powinno się znaleźć w zasobach każdego renomowanego biura projektowego.

Mając wypracowaną linię ciśnień dopuszczalnych w układzie  $X$  (długość otworu),  $Y$  (wartość ciśnienia), poszukujemy dwóch kolejnych krzywych określających zmiany ciśnienia hydrostatycznego w otworze wraz z jego długością oraz, co istotniejsze, krzywą odwzorującą ciśnienia denne o charakterze dynamicznym. Dla tych samych punktów pomiarowych, dla których określiliśmy ciśnienie dopuszczalne, należy obliczyć ciśnienie denne, bazując na spodziewanych ciśnieniach hydrostatycznych i szacunkowych (lecz prawdopodobnych) gradientach ciśnień cyrkulacyjnych. Ciśnienie cyrkulacyjne interpretujemy jako opór przepływu cieczy lepkiej od punktu pomiarowego do charakterystycznego punktu wejścia (lub wyjścia) na powierzchni terenu. W wyniku działań analitycznych otrzymujemy trzy krzywe: ciśnień dopuszczalnych, ciśnień dennych hydrostatycznych (brak cyrkulacji w otworze) i ciśnień dennych dynamicznych (cyrkulacja w otworze). Projektant ma obowiązek porównać uzyskane krzywe i wyciągnąć wnioski. Przebieg krzywych potwierdzi lub wykluczy przyjętą wstępną trajektorię otworu. Krzywa ciśnień dopuszczalnych powinna pozostawać powyżej krzywej dennych ciśnień dynamicznych na co najmniej 70% długości otworu pilotowego i 100% długości otworu w fazie jego poszerzania oraz w fazie instalacji rurociągu. Dla fazy wiercenia pilotowego należy przygotować wykresy w dwóch wariantach: dla pierwotnej wersji punktów wejścia i wyjścia, a także dla wersji alternatywnej, polegającej na zamianie funkcjonalnej stron (punkt wyjścia staje się nowym punktem wejścia).

W niektórych rozwiązaniach projektowych, ze względu na skomplikowaną sytuację wynikającą z lokalizacji, długości przekroczenia i średnicy rurociągu, sytuacji geologicznej i powiązaniem z nią rozkładem ciśnienia dennego w relacji do ciśnienia dopuszczalnego, istnieje kilka możliwych wariantów postępowania. Dopuszcza się wiercenie otworu pilotowego wiertnicą zlokalizowaną w punkcie o niższej rzędnej, a następnie przesunięcie jej do punktu wyższego w celu wykonania pozostałych faz robót. Dzięki takiemu zabiegowi rozkład ciśnień jest korzystniejszy i redukujemy ryzyko zaburzeń w prawidłowym obiegu płuczki wiertniczej.

## Weryfikacja organizacji placu budowy

Obowiązkiem projektanta jest przedstawienie planu sytuacyjnego. Plan taki powinien zawierać według wytycznych branżowych co najmniej następujące szczegóły: topografię terenu, współrzędne punktów wejścia i wyjścia przewiertu w relacji do odpowiedniego geodezyjnego systemu odniesienia, trajektorię osi przewiertu, szczegóły dotyczące promieni krzywizn realizowanych w płaszczyźnie poziomej, naniesioną pozycję wierceń i sondowań oraz ich zasięg, lokalizację zidentyfikowanych potencjalnych kolizji, np. istniejących rurociągów, fundamentów, umocnień itp. Na planie powinien być też wskazany kierunek północy geograficznej.

Elementem dokumentacji jest także plan zagospodarowania placu budowy, uwzględniający zarówno stronę maszynową, jak i rurociągową. Należy określić na nim wymiary placów maszynowych, drogi manewrowe czy drogi dojazdowe. Na planie powinny zostać rozmieszczone główne komponenty systemu wiertniczego, w tym: wiertnica horyzontalna, kabina wiertacza (jeśli nie jest zintegrowana z urządzeniem), system płuczkowy (w tym pompa wysokociśnieniowa, system kondycjonowania płuczki, system separacji faz, zbiorniki na wodę technologiczną). Ponadto wskazane powinny zostać: sposób zakotwienia wiertnicy, pozycja i wymiary zbiorników ziemnych na płuczkę i urobek, lokalizacja miejsc składowania materiałów płuczkowych, kontenerów warsztatowych i biurowych (o ile są przewidziane dla tej klasy projektu), miejsce składowania przewodu wiertniczego i narzędzi wgłębnych. Rozmieszczenie sprzętu oraz wykopy na płuczkę należy zaprojektować w obrębie pasów montażowych.

Dla strony rurociągowej powinien powstać plan konstrukcyjny overbendu, wskazujący na jego promień oraz maksymalną wysokość. Dokument może definiować też pozycję podpórolkowych i odległości między nimi. W przypadku długich instalacji możliwe jest przygotowanie liry rurociągu w więcej niż jednym odcinku.

Wykonawca robót wiertniczych winien przedstawić w planie wykonalności komentarz i wnieść ewentualne zmiany do zaproponowanego przez projektanta planu zagospodarowania placu maszynowego (*Rig Side*) i rurociągowego (*Pipe Side*). Dla projektów angażujących średni i duży sprzęt wiertniczy

placę maszynowe i rurowe po wcześniejszym wyrównaniu powinny zostać wyłożone płytami stalowymi lub płytami betonowymi. Wskazane drogi dojazdowe powinny posiadać nośność i trwałość adekwatną do specyfiki zaangażowanego sprzętu oraz zastosowanej technologii prac wiertniczych. Zjazdy oraz ostatnie odcinki dojazdowe do budowy mogą zostać wykonane z płyt betonowych. Sprzęt wiertniczy jest dostarczany transportem kołowym. W zależności od klasy projektu, trzeba dostarczyć od kilku do około dwudziestu ciężkich transportów na etapie mobilizacji oraz dodatkowych transportów z materiałami pędnymi i eksploatacyjnymi (np. materiały płuczkowe). Konieczny jest też bieżący odbiór z terenu wiertni urobku i pozostawionego po pracach wiertniczych szlamu.

## Podsumowanie

Poziom ryzyka identyfikowanego dla technologii HDD rośnie wraz ze wzrostem skali projektu. W związku z tak postawionym problemem wydaje się uzasadnione położenie dużego nacisku na etap projektowania i planowania operacji wiertniczych. Biura projektowe specjalizujące się w aplikowaniu techniki HDD wykazują coraz więcej zrozumienia dla konieczności weryfikacji tworzonej dokumentacji. Wzrasta też świadomość tego, co jest realistyczne i wykonalne, a co mało prawdopodobne. Dysponowanie wiedzą wynikającą z obserwacji i analizy bieżących projektów może poprawić jakość przyszłych projektów. Kolejnym krokiem może być wzbogacenie wiedzy teoretycznej o doświadczenie polowe. Wtedy okaże się, dlaczego tak ważne są precyzyjne i dobrze udokumentowane raporty geologiczne, wykonana w oparciu o realistyczny model analiza ciśnień czy zrozumienie zjawisk zachodzących w wierconych otworach. <

W najbliższych numerach kwartalnika „Inżynieria Bezwykopowa” zostaną opublikowane kolejne części artykułu. Będą to:

- Część IV: Selekcja urządzeń i materiałów
- Część V: Konfiguracja wyposażenia wgłębnego
- Część VI: Programy technologiczne i technika wiercenia
- Część VII: Dokumentacja i raporty. Wymagania kompetencyjne
- Część VIII: Zarządzanie projektem. Harmonogram i budżet.